留茬高度对不同品种全株玉米青贮品质的影响

赵雪娇[1] 张立阳[1] 刘 帅[1] 阿晓辉[2] 岳奎忠[3] 张永根[1*]

（1.东北农业大学动物科学技术学院，哈尔滨 150030；2.黑龙江奶业协会，哈尔滨 150030；3.东北农业大学生命科学学院，哈尔滨 150030）

摘 要：本试验旨在研究留茬高度对全株玉米青贮品质的影响，并探讨对于不同特性的玉米品种应如何选择留茬高度，为合理生产和利用全株玉米青贮提供理论支持。选取黑龙江省广泛种植玉米品种，高淀粉品种阳光 1 号、高蛋白质品种中原单 32 和高产量品种龙福 208 3 种不同特性的全株玉米为试验材料，采用单因素试验设计，设置 19、49 cm 2 个留茬高度，共 6 个处理，每个处理 2 个重复。测定规营养成分含量、发酵品质及 24、30 和 48 h 瘤胃降解率。结果显示：1）对于全株玉米青贮营养成分含量，留茬高度由 19 cm 增加到 49 cm 后，3 个品种的粗蛋白质（CP）、淀粉含量显著提高（P<0.05），中性洗涤纤维（NDF）及酸性洗涤纤维（ADF）含量显著降低（P<0.05），阳光 1 号、龙福 208 干物质（DM）和粗灰分含量显著提高（P<0.05）。2）各处理全株玉米青贮 pH 差异不显著（P>0.05）；随着留茬高度的增加，同一品种全株玉米青贮氨态氮/总氮（NH_3-N/TN）显著降低（P<0.05），但中原单 32 在 49 cm 留茬高度下的 NH_3-N/TN 仍显著高于阳光 1 号 19 cm 留茬高度下的 NH_3-N/TN（P<0.05），具有较高的蛋白质分解量，而阳光 1 号 NH_3-N/TN 在 2 个留茬高度下均较低，发酵效果更好；乳酸（LA）及乙酸（AA）含量在不同品种间有较大差异，而增加留茬高度对其影响较小。3）随着留茬高度的增加，各品种全株玉米青贮的瘤胃干物质降解率（DMD）和粗蛋白质降解率（CPD）呈增加趋势，瘤胃中性洗涤纤维降解率（NDFD）呈降低趋势，其中阳光 1 号在 49 cm 留茬高度下 48 h 瘤胃 DMD 最大，与 19 cm 留茬高度处理差异不显著（P>0.05），且该品种在 19 cm 留茬高度下 48 h 瘤胃 NDFD 最大。由此可见，增加留茬高度可提高全株玉米青贮的 DM、CP、淀粉含量，但会降低其 NDF 含量，以及减小发酵过程的缓冲性，从而对发酵指标影响较小。因此，对于高淀粉低纤维类玉米品种如阳光 1 号，可选择较低留茬高度，以获得质与量最大化；而高蛋白质或高产量玉米品种如中原单 32、龙福 208，可适当提高留茬高度，改善青贮品质。

收稿日期：2018-01-18

基金项目：国家奶牛产业技术体系项目（CARS-36）

作者简介：赵雪娇（1992-），辽宁抚顺人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail：zhaoxuejiao1023@163.com

*通信作者：张永根，教授，博士生导师，E-mail： zhangyonggen@sina.com

关键词：全株玉米青贮；留茬高度；玉米品种；营养成分；发酵品质；瘤胃降解率
中图分类号：S816

自 20 世纪 60 年代开始，青贮饲料的生产大幅增加，并且成为一种保存青绿饲料最主要的方法，尤其是全株玉米青贮。据国家统计局数据显示，2015 年我国玉米播种面积高达 38 119.31 千公顷，而青饲料播种面积不足其 5%，人畜争粮矛盾日益突出，因而全株玉米青贮对草食性家畜作为节粮型畜种的重要性更加明显。全株玉米青贮营养丰富、适口性好、易消化且保存期长，可提高牛奶产量，同时可实现一年四季均衡供应，保障奶业健康快速可持续发展[1-2]。黑龙江省是我国奶牛养殖大省，据统计 2014 年、2015 年黑龙江省牛奶产量约占全国牛奶总产量的 15%，而阳光 1 号、中原单 32 和龙福 208 是黑龙江地区最主要的玉米青贮品种[3-5]。其中，阳光 1 号淀粉含量较高，纤维含量较低，中原单 32 蛋白质含量较高，而龙福 208 有较高的生物产量，三者均表现出较高的饲用价值[5-6]。研究表明，全株玉米的青贮品质及生物产量与品种特性直接相关外，与其收获时期和留茬高度也密切相关，玉米青贮由高淀粉的穗和高纤维的秸秆等部分组成，留茬高度越高其营养价值越高，但不同品种其留茬高度不同也会显著影响青贮后的营养品质[7-9]。生产中一般将留茬高度控制在 15~45 cm 为好[10]。本试验选取黑龙江省广泛种植的 3 个玉米品种为试验材料，研究其在 19、49 cm 2 个留茬高度下，青贮前后的营养成分、发酵品质和瘤胃降解特性，旨在研究留茬高度对全株玉米青贮品质的影响，并探究对于不同特性的玉米品种应如何选择留茬高度，为合理生产和利用全株玉米青贮提供理论支持和实践指导。

1　材料与方法

1.1　试验材料

全株玉米青贮原料来自黑龙江省齐齐哈尔市，玉米品种分别为阳光 1 号、中原单 32 和龙福 208。

1.2　试验设计及青贮制作

本试验采用单因素试验设计，3 个品种的玉米分别以常见高度 19 cm、较高高度 49 cm 留茬，共计 6 个处理，每个处理 3 个重复。全株玉米原料由青贮收割机采集，切割长度为 1.5 cm，按照试验设计混合均匀，装入聚乙烯袋（35 cm×45 cm），每袋约 2 kg，压实后用真空包装机抽真空封口，室温 25 ℃左右贮藏 45 d 后开封进行样品采集，用于后续指标

测定。发酵前后样品采集参照 GB/T 14699.1-2005《饲料采样》[11]进行。

1.3 营养成分测定

发酵前后样品干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、粗灰分含量按照 AOAC（2005）[12]中的方法进行测定；中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）含量依照 Van Soest 分析体系中提供的方法采用纤维分析仪（美国 ANKOM Fiber Analyzer）进行测定[13]；淀粉含量利用淀粉总量检测试剂盒（爱尔兰 Megazyme K-TSTA）进行测定。根据以下公式计算相对饲喂价值（RFV）：

RFV=。

1.4 发酵品质测定

pH采用Sartorius PB-10型酸度计[赛多利斯科学仪器（北京）有限公司]测定；氨态氮（NH_3-N）含量采用苯酚-次氯酸钠比色法测定[14]；乙酸（AA）、丙酸（PA）和丁酸（BA）含量采用气相色谱法（日本岛津GC-2010）测定[15]；乳酸（LA）含量采用高效液相色谱法（美国Waters-600）测定[16]。

1.5 瘤胃降解率测定

1.5.1 试验动物及饲养管理

选取 2 头安装永久性瘤胃瘘管的荷斯坦奶牛，体重（600±20） kg，每日饲喂 2 次（07:00 和 18:00），自由饮水。饲粮为全混合日粮（TMR），按照《奶牛营养需要》[17]要配制。其组成及营养水平见表 1。

表1 饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the diet （air-dry basis） %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
羊草 Chinese wildrye	42.85
玉米青贮 Corn silage	15.82
玉米 Corn	13.18
麦麸 Wheat bran	3.74
糖蜜 Molasses	0.99
豆粕 Soybean meal	3.15
干酒糟 Dried distillers grain	5.35
棉籽粕 Cottonseed meal	2.06
玉米纤维饲料 Corn fiber feed	7.42
玉米胚芽粕 Corn germ meal	4.94

预混料 Premix 1)	0.50
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
泌乳净能 NE_L/(MJ/kg)	5.44
粗蛋白质 CP	14.4
中性洗涤纤维 NDF	49.2
酸性洗涤纤维 ADF	30.60
钙 Ca	0.60
磷 P	0.40

1) 每千克预混料中含有 Contained the following per kg of the premix:VA 8 000 000 IU，VD 700 000 IU，VE 10 000 IU，Fe 1 600 mg，Cu 1 500 mg，Zn 10 000 mg，Mn 3 500 mg，Se 80 mg，I 120 mg，Co 50 mg。

2) 泌乳净能为计算值，其余为实测值。NE_L was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

1.5.2 瘤胃降解率测定

称取 5 g 粉碎后过 1 mm 筛的全株玉米青贮风干样品，放入孔径为 50 μm，长×宽为 12 cm×8 cm 的尼龙袋内，袋口用尼龙绳绑好。每 4 个袋夹在 1 根半软塑料管上，并用尼龙绳扎好。每头牛每个时间点设 2 个平行。晨饲前投入试验动物瘤胃中，分别于体内培养 24、30 和 48 h 后取出，于自来水下细流冲洗，直至尼龙袋中流出的水清澈明亮、无味为止。65 ℃烘干至恒重分别测定 DM、CP 和 NDF 含量，方法同 1.3，计算瘤胃降解率。

1.6 数据处理及统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件中的 ANOVA 过程进行单因素方差分析，平均值的多重比较采用 Duncan 氏法进行，P<0.05 为差异显著。

2 结 果

2.1 发酵前全株玉米的营养成分含量

发酵前全株玉米的营养成分含量见表 2。在同一留茬高度下，阳光 1 号的淀粉含量最高，且相比于中原单 32 和龙福 208 差异显著（P<0.05），而 NDF、ADF 含量则相反；对于 CP 含量，中原单 32 在 3 个玉米品种中最高，相同留茬高度下与阳光 1 号差异不显著（P>0.05），但显著高于龙福 208（P<0.05）。随着留茬高度的增加，3 个玉米品种的各营养成分含量呈现相同的变化趋势，其中 CP、淀粉含量显著增加（除了龙福 208）（P<0.05），NDF、ADF 含量均显著降低（P<0.05），各品种 2 个留茬高度的 EE 含量差异不显著（P>0.05）。

表 2 青贮前全株玉米的营养成分含量（风干基础）

Table 2 Nutrient contents of whole plant maize before silage （air-dry basis） %

项目 Items	阳光 1 号 *Yangguang* No. 1		中原单 32 *Zhongyuandan* 32		龙福 208 *Longfu* 208		SEM	*P* 值 *P*-value
	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm		
干物质 DM	36.48^{b}	38.21^{a}	35.31^{c}	36.44^{b}	33.88^{d}	36.45^{b}	0.085	<0.001
粗蛋白质 CP	6.12^{b}	6.86^{a}	6.21^{b}	7.08^{a}	4.56^{c}	6.35^{b}	0.038`	<0.001
中性洗涤纤维 NDF	48.14^{c}	45.31^{e}	52.28^{a}	46.05^{d}	50.50^{b}	47.78^{c}	0.282	<0.001
酸性洗涤纤维 ADF	22.94^{d}	20.49^{e}	28.28^{a}	25.44^{c}	27.13^{b}	25.61^{c}	0.294	<0.001
淀粉 Starch	24.03^{b}	29.87^{a}	17.60^{c}	24.81^{b}	19.30^{c}	21.15^{bc}	0.528	<0.001
粗脂肪 EE	1.70	2.01	1.69	2.26	2.12	2.42	0.820	0.077

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05) while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2 全株玉米青贮的营养成分含量

全株玉米青贮的营养成分含量见表 3。在同一留茬高度下，阳光 1 号 DM、淀粉含量最高，显著高于其他 2 个品种（除了 19 cm 的留茬高度下与中原单 32 相比）（*P*<0.05）；中原单 32 的 CP 含量最高，但同一留茬高度下各品种间差异不显著（*P*＞0.05）。随着留茬高度的增加，3 个品种的 CP、淀粉含量显著提高（*P*<0.05），NDF、ADF 含量显著降低（*P*<0.05），阳光 1 号、龙福 208 DM 和粗灰分含量显著提高（*P*<0.05）。

表 3 全株玉米青贮的营养成分含量（风干基础）

Table 3 Nutrient contents of whole plant corn silage （air-dry basis） %

项目 Items	阳光 1 号 *Yangguang* No. 1		中原单 32 *Zhongyuandan* 32		龙福 208 *Longfu* 208		SEM	*P* 值 *P*-value
	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm		
干物质 DM	31.36^{bc}	33.64^{a}	31.26^{bc}	32.33^{b}	27.18^{d}	30.68^{c}	0.166	<0.001
粗蛋白质 CP	6.45^{b}	7.40^{a}	6.61^{b}	7.44^{a}	6.16^{b}	7.23^{a}	0.056	<0.001
中性洗涤纤维 NDF	48.71^{c}	44.08^{d}	55.04^{a}	50.18^{bc}	52.21^{b}	49.63^{c}	0.332	<0.001
酸性洗涤纤维 ADF	28.59^{bc}	24.49^{d}	29.63^{ab}	28.30^{c}	30.56^{a}	27.62^{c}	0.152	<0.001
淀粉 Starch	32.90^{b}	36.77^{a}	26.85^{c}	31.54^{b}	23.35^{d}	28.14^{c}	0.327	<0.001
粗脂肪 EE	2.51^{b}	3.40^{a}	2.55^{b}	3.40^{a}	2.72^{b}	2.98^{ab}	0.063	<0.001
粗灰分 Ash	3.73^{c}	3.41^{d}	4.17^{b}	3.95^{bc}	4.57^{a}	3.90^{bc}	0.040	<0.001

2.3 全株玉米青贮的发酵品质

全株玉米青贮的发酵品质见表 4、表 5。所有处理的 pH 差异均不显著（*P*>0.05）。在同一留茬高度下，中原单 32 的 LA 含量最高，且与阳光 1 号差异达到了显著水平（*P*<0.05）；

龙福 208 的 AA 含量显著高于阳光 1 号和中原单 32（P<0.05），但阳光 1 号与中原单 32 间差异不显著（P>0.05）；对于 LA/AA，中原单 32 在 49 cm 留茬高度下达到最大，与阳光 1 号差异不显著（P>0.05），但显著高于龙福 208（P<0.05）。随着留茬高度的增加，龙福 208 的 LA 含量显著提高（P<0.05）；3 个玉米品种的氨态氮/总氮氨态氮/总氮（NH_3-N/TN）显著下降（P<0.05）；各处理均未检测到 PA 和 BA。

表 4　全株玉米青贮的 pH 和氨态氮/总氮

Table 4　pH and NH_3-N/TN of whole plant corn silage

项目 Items	阳光 1 号 *Yangguang* No. 1		中原单 32 *Zhongyuandan* 32		龙福 208 *Longfu* 208		SEM	*P* 值 *P*-value
	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm		
pH	3.84	3.82	3.86	3.85	3.85	3.83	0.006	0.226
氨态氮/总氮 NH_3-N/TN/%	1.74^{c}	1.46^{d}	2.40^{a}	2.06^{b}	2.47^{a}	1.97^{bc}	0.035	<0.001

表 5　全株玉米青贮的有机酸含量(干物质基础)

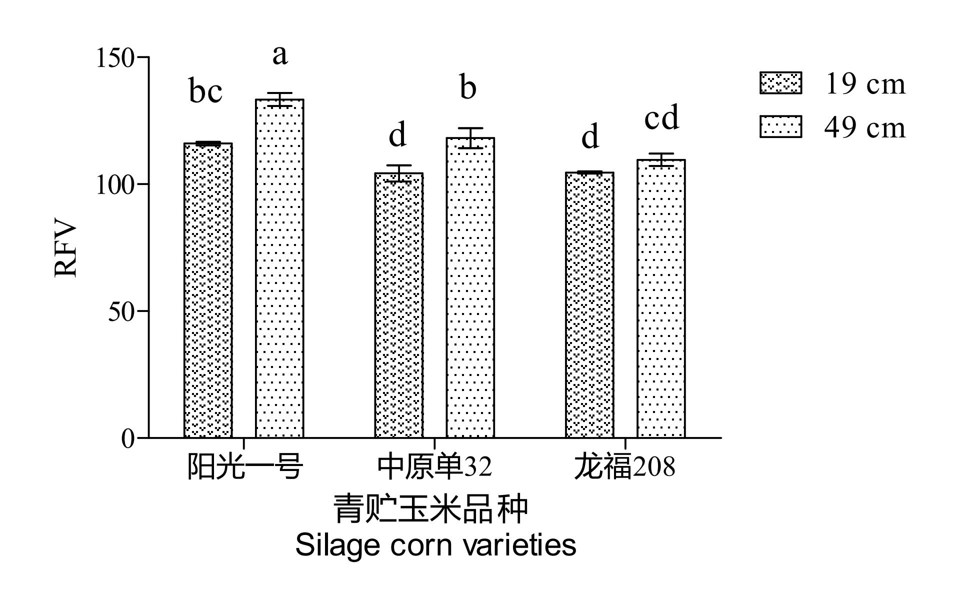
Table 5　Organic acid contents of whole plant corn silage　（DM basis）　%

项目 Items	阳光 1 号 *Yangguang* No. 1		中原单 32 *Zhongyuandan* 32		龙福 208 *Longfu* 208		SEM	*P* 值 *P*-value
	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm		
乳酸 LA/%	1.31^{d}	1.46^{bcd}	1.60^{abc}	1.71^{a}	1.41^{cd}	1.67^{ab}	0.031	0.009
乙酸 AA/%	1.64^{bc}	1.29^{c}	1.49^{c}	1.44^{c}	2.55^{a}	2.08^{ab}	0.071	0.001
乳酸/乙酸 LA/AA	0.80^{b}	1.13^{a}	1.07^{a}	1.19^{a}	0.59^{c}	0.80^{b}	0.017	<0.001
丙酸 PA/%	-	-	-	-	-	-	-	-
丁酸 BA/%	-	-	-	-	-	-	-	-

“-”表示未测出。"-" indicated non-detected.

2.4　全株玉米青贮 RFV

由青贮后 NDF、ADF 含量计算各处理发酵后 RFV，结果见图 1。提高留茬高度会显著增加全株玉米青贮的 RFV（P<0.05），且不同品种在同一留茬高度下差异显著（P<0.05）。其中阳光 1 号在 49 cm 留茬高度下 RFV 最高。且当留茬高度为 19 cm 时阳光 1 号的 RFV 与留茬高度为 49 cm 的中原单 32、龙福 208 的 RFV 相近，差异不显著（P>0.05）。



数据柱形标注不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。

Data columns with different small letter superscripts mean significant difference （P<0.05）.

图 1　全株玉米青贮的相对饲喂价值

Fig.1　RFV of whole plant corn silage

2.5　全株玉米青贮的瘤胃降解率

全株玉米青贮的瘤胃降解率见表 6。在同一留茬高度下，阳光 1 号的各时间点瘤胃 DMD 和粗蛋白质降解率（CPD）最高，与其他 2 个品种的差异在 48 h 达到显著水平（P<0.05）；而 3 个品种的瘤胃中性洗涤纤维降解率（NDFD）在不同时间点则表现不一。随着留茬高度的增加，同一时间点、同一品种瘤胃 DMD 增加，且在 48 h 中原单 32 和龙福 208 变化达到显著水平（P<0.05），但阳光 1 号变化不显著（P>0.05）。随着降解时间的延长，留茬高度为 49 cm 的阳光 1 号的瘤胃 DMD 达到最大，与 19 cm 留茬高度下差异不显著（P>0.05）。随着留茬高度的增加，同一品种瘤胃 NDFD 呈下降趋势，48 h 时阳光 1 号与中原单 32 变化达到了显著水平（P<0.05），在不同品种间，留茬高度为 49 cm 的阳光 1 号的瘤胃 NDFD 与留茬高度 19 cm 的中原单 32 相近，差异不显著（P>0.05）。

表 6　全株玉米青贮的瘤胃降解率（风干基础）

Table 6　Ruminal degradation rate of whole plant corn silage （air-dry basis）　　%

项目 Items	时间 Time/h	阳光 1 号 *Yangguang* No. 1		中原单 32 *Zhongyuandan* 32		龙福 208 *Longfu* 208		SEM	*P* 值 *P*-value
		19 cm	49 cm	19 cm	49 cm	19 cm	49 cm		

干物质降解率 DMD	24	46.88^{b}	49.50^{a}	43.46^{c}	46.69^{b}	41.46^{d}	44.53^{c}	0.205	<0.001
	30	53.57	57.16	52.34	53.66	51.58	54.08	0.714	0.361
	48	65.53^{ab}	69.12^{a}	60.45^{d}	64.09^{bc}	58.03^{d}	62.86^{bc}	0.649	0.004
中性洗涤纤维降解率 NDFD	24	16.38^{b}	11.83^{c}	22.79^{a}	16.77^{b}	21.89^{a}	17.39^{b}	0.197	<0.001
	30	29.17^{c}	27.34^{c}	33.47^{b}	27.81^{c}	35.61^{a}	27.60^{c}	0.244	<0.001
	48	50.68^{a}	47.96^{b}	48.45^{b}	46.13^{c}	45.94^{cd}	44.10^{d}	0.263	<0.001
粗蛋白质降解率 CPD	24	37.01^{c}	45.97^{a}	35.24^{d}	41.31^{b}	29.46^{e}	35.33^{d}	0.138	<0.001
	30	42.35^{c}	48.85^{a}	40.03^{d}	44.39^{b}	39.61^{d}	41.15^{cd}	0.236	<0.001
	48	55.89^{c}	62.24^{a}	55.11^{c}	59.59^{b}	46.85^{d}	58.73^{b}	0.158	<0.001

3 讨 论

3.1 全株玉米的营养成分含量

阳光 1 号、中原单 32 和龙福 208 是我国东北地区广泛种植的玉米青贮品种，不同品种间营养特性差异显著。其中阳光 1 号淀粉含量较高，NDF 和 ADF 含量较低；中原单 32 CP 含量较高；龙福 208 除 CP 含量最低外，其他营养成分含量介于二者之间，但有资料显示该品种具有较高的生物产量。本试验对 3 个品种全株玉米营养成分含量测定结果与戚长秋等[5]、武金革等[6]对东北地区多个常见玉米青贮品种的研究结果一致。

研究显示，全株玉米的青贮品质及生物产量和品种特性直接相关外，与其留茬高度的控制也密切相关，且不同品种其留茬高度不同也会显著影响青贮后的营养品质。丁雪等[18]研究表明，玉米秸秆的叶片 CP 含量最高，茎皮的 ADF 含量最高，不同部位营养特性具有较大差异，留茬高度的不同会影响全株玉米中秸秆、叶片、穗等部位所占的比例，进而影响全株玉米青贮的营养价值。但 Neylon 等[7]以及 Lynch 等[9]研究认为，由于提高留茬高度可能会降低全株玉米青贮过程中的缓冲能力，从而导致发酵指标差异不显著。因而本试验认为对于不同特性玉米品种而言，并非提高留茬高度会显著改善发酵后品质，而应根据其自身营养特性，选择合适的留茬高度取向。

3.2 全株玉米青贮营养成分含量

发酵完成后对营养成分及淀粉含量进行检测，比较 DM 含量可知，全株玉米青贮的 DM 含量较青贮前降低，且提高留茬高度减少了 DM 损失。本试验中，在 6 个处理中阳光 1 号在 49 cm 留茬高度下 DM 含量最高，在同一留茬高度下，显著高于其他品种，但与品种中原单 32 在 19 cm 留茬高度下的 DM 含量差异不显著，说明由品种间不同营养特性导致的发酵后品质差异是十分明显的。NDF、ADF 以及 CP 含量相比于青贮前呈现轻微增加的趋势，但幅度较小，可能是由于青贮后 DM 损失导致其相对含量发生变化。3 个品种在 2 个不同留

茬高度处理下发酵后 pH 差异不显著，同 Lynch 等[9]的结果一致，可能是由于增加留茬高度降低了发酵的缓冲能力，且发酵时间充足，pH 近于稳定。数据显示，提高留茬高度显著降低了 NH_3-N/TN，但对于 CP 含量较高的玉米品种中原单 32，其在 49 cm 留茬高度下的 NH_3-N/TN 仍显著高于 19 cm 留茬高度下阳光 1 号的 NH_3-N/TN，具有较高的蛋白质分解量。而对于淀粉含量较高、NDF 含量较低的品种阳光 1 号，其 NH_3-N/TN 在 2 个留茬高度下均较低，发酵效果更好。因而本试验认为，对于淀粉含量较高且 NDF 含量偏低的如阳光 1 号，其在普通留茬高度以及较高留茬高度下发酵均能达到较好状态。

据本试验中 RFV 结果，提高留茬高度会显著增加全株玉米青贮的 RFV，其中阳光 1 号在 2 个留茬高度下均较高，且当留茬高度为 19 cm 时阳光 1 号的 RFV 与留茬高度为 49 cm 的中原单 32、龙福 208 的 RFV 差异不显著，说明对于高淀粉低纤维品种如阳光 1 号，其在较低留茬高度下，仍有较高的 RFV。

3.3 全株玉米青贮的瘤胃降解率

本试验中，随着留茬高度的增加，各品种全株玉米青贮的瘤胃 DMD 和 CPD 增加，该结果与 Lynch 等[9]研究一致。在 6 个处理中，各品种在不同时间点的瘤胃 DMD 表现不同，可能是由于品种间营养特性的差异，而使快速降解部分、慢速降解部分含量以及降解速率不同所致；但在 48 h 时 49 cm 留茬高度的阳光 1 号的瘤胃 DMD 达到最大，与 19 cm 留茬高度处理差异不显著，但显著高于其他 2 个品种在该时间点的瘤胃 DMD。研究认为，对于全株玉米青贮 24、30 和 48 h 的瘤胃 NDFD 可作为其生物评价相关指标，因而在本试验中测定了上述 3 个关键时间点瘤胃 NDFD[7,9,19]，其中在 24 h 降解率较低，随后快速增加，阳光 1 号 19 cm 留茬高度处理在 48 h 瘤胃 NDFD 达到最大；本试验中随着留茬高度的升高，瘤胃 NDFD 呈降低趋势，与 Lynch 等[9]研究结果一致，与 Neylon 等[7]和 Caetano 等[8]研究结果相反，但随着降解时间的延长，此降低趋势的幅度逐渐减小，可能是由于全株玉米青贮中 NDF 含量较高，可达 50%左右，在瘤胃中降解速率较慢，在 24、30、48 h 这 3 个时间点 NDF 降解不完全，且在 2 种留茬高度下快速降解部分、慢速降解部分含量差异较大，导致在低留茬高度下瘤胃 NDFD 较高。因而，本试验认为，保证全株玉米青贮瘤胃 DMD 及 NDFD 的同时，增加单位土地面积的青贮产量，对于高淀粉低纤维品种如阳光 1 号可降低留茬高度，以获得更高的产量和良好的青贮发酵品质，而对于高蛋白质或高纤维含量的品种可提高留茬高度，

以增加瘤胃降解率。

4 结 论

①增加留茬高度可提高全株玉米青贮的 DM、CP、淀粉含量，降低 NDF 含量，以及减弱发酵过程的缓冲性，从而对发酵品质影响较小。

②对于高淀粉低纤维类玉米品种如阳光 1 号，可选择较低留茬高度，以获得品质、产量最大化。

③高蛋白或高产量玉米品种如中原单 32、龙福 208，可适当提高留茬高度，改善青贮品质。

参考文献：

[1] 张晓庆,穆怀彬,侯向阳,等.我国青贮玉米种植及其产量与品质研究进展[J].畜牧与饲料科学,2013,34(1):54–57,59.

[2] 蒋万,谢铁娜,周玉香.不同青贮玉米品种的生物产量及青贮料品质分析[J].黑龙江畜牧兽医,2012(21):77–79.

[3] 李钢.黑龙江省北部地区青贮玉米品种选择和混播的研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2008.

[4] 于天江,张林,董玲,等.早熟型青贮玉米品种阳光 1 号的选育及栽培技术[J].农业科技通讯,2008(10):100–101.

[5] 戚长秋,孙福忱,丁文杰.红旗小区十个青贮玉米品种对比实验报告[J].黑龙江畜牧兽医,2004(6):56–57.

[6] 武金革,李钢,刘慧青,等.北安地区 10 个青贮玉米品种引种比较试验[J].饲料博览,2008(1):9–12.

[7] NEYLON J M,KUNG L Jr.Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(6):2163–2169.

[8] CAETANO H,DE OLIVEIRA M D S,DE FREITAS JÚNIOR J E,et al.Evaluation of corn cultivars harvested at two cutting heights for ensilage[J].Revista Brasileira De Zootecnia,2011,40(1):12–19.

[9] LYNCH J P,BAAH J,BEAUCHEMIN K A.Conservation,fiber digestibility,and nutritive value of corn harvested at 2 cutting heights and ensiled with fibrolytic enzymes,either alone or with a ferulic acid esterase-producing inoculant[J].Journal of Dairy Science,2015,98(2):1214–1224.

[10] 贺忠勇,陈万发.青贮玉米的种植及其在奶牛生产中的应用[J].中国奶牛,2013(7):61–63.

[11] 国家标准化管理委员会.GB/T14699.1-2005 饲料采样[S].北京:中国标准出版社,2005.

[12] AOAC International.Official methods of analysis[S].18th ed.Arlington:Association of Analytical Chemists,2005.

[13] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[14] WEATHERBURN M W.Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia[J].Analytical Chemistry,1967,39(8):971–974.

[15] SUN X Q,GIBBS S J.Diurnal variation in fatty acid profiles in rumen digesta from dairy cows grazing high-quality pasture[J].Animal Feed Science and Technology,2012,177(3/4):152–160.

[16] 卢定强,徐蓓,李晖,等.反相高效液相色谱法同时测定乳酸及乳酸甲酯[J].精细化工,2007,24(2):206–208.

[17] (美)国家科学研究委员会组织.奶牛营养需要[S].孟庆翔,译.北京:中国农业大学出版社,2002:55.

[18] 丁雪.利用 FTIR 技术评定玉米秸秆营养价值的研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2016.

[19] GOESER J P,COMBS D K.An alternative method to assess 24-h ruminal *in vitro* neutral detergent fiber digestibility[J].Journal of Dairy Science,2009,92(8):3833–3841.

[20] 夏科,姚庆,李富国,等.奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J].动物营养学报,2012,24(4):769–777.

Effects of Cutting Height on Quality of Different Varieties of Whole Plant Corn Silage

ZHAO Xuejiao[1] ZHANG Liyang[1] LIU Shuai[1] A Xiaohui[2] YUE Kuizhong[3] ZHANG Yonggen[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;* 2. *Dairy Association of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China;* 3. *College of Life Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)*

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of cutting height on the quality of whole plant corn silage and explore the suitable cutting height for different corn varieties, which would provide a theoretical basis for producing and utilizing of whole plant corn silage. Three corn varieties widely cultivated in *Heilongjiang* province including high starch variety of *Yangguang* No. 1, high protein variety of *Zhongyuandan* 32 and high biology yield variety of *Longfu* 208 were studied in this experiment. Using a single factor design, two cutting heights of 19 and 49 cm were set. There were 6 treatments with 2 replicates per treatment. Nutrient contents, fermentation quality and ruminal degradation rate at 24, 30 and 48 h were measured. The results showed as follows: 1) about nutrient contents of whole plant corn silage, when the cutting height was increased from 19 cm to 49 cm, contents of crude protein (CP) and starch were significantly increased (P<0.05), while contents of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were significantly decreased in three corn varieties (P<0.05), and contents of dry matter (DM) and ash of *Yangguang* No. 1 and *Longfu* 208 were significantly increased (P<0.05). 2) There was no significant difference of pH among treatments (P>0.05). With the increase of cutting height, ammonia nitrogen/total nitrogen (NH_3-N/TN) of the same corn variety significantly decreased (P<0.05). NH_3-N/TN of *Zhongyuandan* 32 at cutting height of 49 cm was still significantly higher than that of *Yangguang* No. 1 at cutting height of 19 cm (P<0.05), which indicated a higher protein decomposition in *Zhongyuandan* 32 at cutting height of 49 cm. At cutting heights of 19 and 49 cm, NH_3-N/TN of *Yangguang* No. 1 was lower, which indicated a better fermentation quality of *Yangguang* No. 1. For the contents of lactic acid and acetic acid, there were differences among different corn varieties, and cutting height had little effect on them. 3) With the increase of

[*]Corresponding author, professor, E-mail: zhangyonggen@sina.com

cutting height, ruminal dry matter degradation rate (DMD) and crude protein degradation rate (CPD) of all varieties of whole plant corn silage increased, while ruminal neutral detergent fiber degradation rate (NDFD) decreased. At cutting height of 49 cm, the 48 h ruminal DMD of *Yangguang* No. 1 was the largest, had no significant difference with that at cutting height of 19 cm(P>0.05), and *Yangguang* No. 1 had the largest 48 h ruminal NDFD at cutting height of 19 cm. The results indicate that increasing cutting height can improve DM, CP and starch contents of whole plant corn silage, but decrease NDF content, and decrease buffering capacity of fermentation process, thus has a little effect on fermentation indexes. Therefore, the cutting height of high starch variety of whole plant corn silage, such as *Yangguang* No. 1, can be moderately dropped, so that the quality and yield can be raised; however, the cutting heights of high protein variety and high biology yield variety of whole plant corn silage, such as *Zhongyuandan* 32 and *Longfu* 208, can be increased properly to improve the quality of silage.

Key words: whole plant corn silage; cutting height; corn variety; nutrient; fermentation quality; ruminal degradation rate